

**(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

**Offenlegungsschrift**  
**DE 44 19 472 A 1**

Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 S 17/08**

5

(21) Aktenzeichen: P 44 19 472.2  
 (22) Anmeldetag: 3. 6. 94  
 (43) Offenlegungstag: 8. 12. 94

**DE 44 19 472 A1**

③① Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
04.06.93 DE 93 20 487.6

⑦1 Anmelder:  
i f m electronic gmbh, 45127 Essen, DE

74) Vertreter:  
Gesthuysen, H., Dipl.-Ing.; von Rohr, H., Dipl.-Phys.;  
Weidener, J., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 45128 Essen

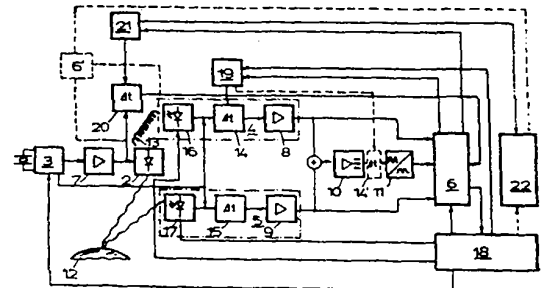
(72) Erfinder:  
Gohr, Andreas, Dipl.-Ing. (TH), 88069 Tettnang, DE

**Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt**

### ⑤④ Entfernungsmessgerät nach dem Laufzeitprinzip

(57) Die Erfindung betrifft ein Entfernungsmessgerät (1) nach dem Laufzeitprinzip unter Verwendung elektromagnetischer Wellen, vorzugsweise von Lichtwellen, mit mindestens einem eine Lichtwelle aussendenden Lichtsender (2), mit einem die Amplitude der Lichtwelle mittels eines Amplitudenmodulationssignals modulierenden Sendepulsgenerator (3), mit mindestens einem am Ende einer Lichtstrecke angeordneten, ein Empfangssignal liefernden Lichtempfänger (4, 5) und mit mindestens einem Phasendifferenzdetektor (6), wobei der Lichtsender (2), der Sendepulsgenerator (3), der Lichtempfänger (4, 5) und der Phasendifferenzdetektor (6) in an sich bekannter Weise über elektrische Signalwege verbunden sind.

Erfindungsgemäß ist ein solches Entfernungsmeßgerät dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem der elektrischen Signalwege mindestens eine elektronische Signalverzögerungseinheit (14, 15, 20) vorgesehen ist.



**DE 44 19 472 A 1**

**Die folgenden Angaben sind den v m Anmelder eingereicht n Unterlagen entnommen**

BUNDESDRUCKEREI 10. 94 408 049/592

10/31

Die Erfindung betrifft ein Entfernungsmessgerät nach dem Laufzeitprinzip unter Verwendung elektromagnetischer Wellen, vorzugsweise von Lichtwellen, mit mindestens einem eine Lichtwelle aussendenden Lichtsender, mit einem die Amplitude der Lichtwelle mittels eines Amplitudenmodulationssignals modulierenden Sendepulsgenerator, mit mindestens einem am Ende einer Lichtstrecke angeordneten, ein Empfangssignal liefernden Lichtempfänger und mit mindestens einem Phasendifferenzdetektor, wobei der Lichtsender, der Sendepulsgenerator, der Lichtempfänger und der Phasendifferenzdetektor in an sich bekannter Weise über elektrische Signalwege verbunden sind.

Entfernungsmessgeräte basieren auf dem Prinzip, daß bei bekannter Laufzeit eines Signals durch ein Medium über eine Entfernung — also eine Meßlichtstrecke — und gleichzeitig bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals in diesem Medium sich die Entfernung als Quotient von Ausbreitungsgeschwindigkeit und Laufzeit ergibt. Im vorliegenden Fall wird das sich ausbreitende Signal von elektromagnetischen Wellen, vorzugsweise von Lichtwellen, gebildet. Breiten sich im hier vorgeschlagenen Verfahren die Lichtwellen in einem homogenen Medium, z. B. Luft oder Wasser aus, so ist die Entfernungsbestimmung bei Kenntnis der Laufzeit ohne weiteres möglich, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Lichtwellen in dem homogenen Medium berücksichtigt wird.

Eine wesentliche Problematik der Entfernungsmessung nach dem Laufzeitprinzip unter Verwendung von Lichtwellen liegt in der extrem hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit von 300 000 km/s, die eine extrem hoch aufgelöste Messung der Laufzeit erforderlich macht. Um diese hoch aufgelöste Zeitmessung durchzuführen, sind in der Vergangenheit verschiedene Verfahren vorgeschlagen worden.

Diese Verfahren lassen sich im wesentlichen in zwei Entwicklungsrichtungen unterscheiden. Man spricht — begrifflich nicht ganz präzise — einerseits von dem Dauerstrichverfahren, andererseits von dem Pulsverfahren. Beim Dauerstrichverfahren wird die Amplitude der Lichtwelle mit einer Frequenz im Hochfrequenzbereich moduliert. Dabei wird die Modulationsfrequenz so gewählt, daß die Modulationswellenlänge — also nicht die Lichtwellenlänge — in einem Bereich liegt, der zumindest größenordnungsmäßig dem Bereich der zu messenden Entfernung entspricht; da dieser häufig durch die Anwendung nicht genügend eingeschränkt werden kann, werden regelmäßig zwei oder mehrere Modulationsfrequenzen nacheinander gewählt. Die Laufzeitbestimmung eines Meßlichtsignals erfolgt nun aus dem Phasenvergleich der Modulation der ausgesandten Lichtwelle mit der Modulation der einlaufenden Lichtwelle. Dem gegenüberzustellen ist das Pulsverfahren, bei welchem zwar auch die Amplitude der Lichtwelle moduliert wird, jedoch die Modulation pulsförmig mit anschließender längerer Unterbrechung — also wesentlich niedriger Modulationsfrequenz — erfolgt. Bei diesem Verfahren wird — bildlich gesprochen — tatsächlich die Zeit gestoppt, die zwischen dem Aussenden und dem Einlaufen des Meßlichtsignals verstreicht.

Sowohl das Dauerstrichverfahren (vgl. DE-A 22 29 339, DE-C 24 20 194, DE-C 31 20 274, GB-C 585 054, US-C 4,522,992, US-C 4,403,857, US-C 4,531,833) als auch das Pulsverfahren (vgl. DE-A 20 23 383, DE-A 21 12 325, DE-A 26 49 354, DE-

C 31 03 567, EP-A 0 015 566, US-C 3,428,815, US-C 3,503,680, US-C 3,900,261) weisen verfahrensbedingte Vor- bzw. Nachteile auf, die zu verschiedenen Lösungsvorschlägen in den zitierten Druckschriften geführt haben.

Ein grundsätzliches Problem ist jedoch beiden Verfahren gleichermaßen eigen. Aufgrund der extrem kurzen Laufzeiten, die es zu bestimmen gilt, spielen neben der Laufzeit der Lichtwelle ebenso die Laufzeiten der elektronischen Signale in der zugehörigen Schaltung eine maßgebliche, die Meßgenauigkeit beeinträchtigende Rolle. Das eigentliche Problem besteht darin, daß sich die elektrischen Signallaufzeiten innerhalb der Schaltung infolge von Temperaturschwankungen und Alterungserscheinungen verändern — sie driften. Somit ist eine Eichung des Entfernungsmessgerätes, welche die elektronischen Signallaufzeiten berücksichtigt, allein im Produktionsprozeß nicht ausreichend. Die häufig vorgeschlagene Lösung für dieses Problem besteht darin, die Lichtwelle neben ihrer Aussendung über die Meßlichtstrecke außerdem über eine Referenzlichtstrecke bekannter Länge auszusenden. Da mit der Länge der Referenzlichtstrecke ebenfalls die Laufzeit eines Referenzlichtsignals über die Referenzlichtstrecke bekannt ist, kann man somit die elektronische Signallaufzeit errechnen und aus der Laufzeit der Lichtwelle über die Meßlichtstrecke eliminieren. Da diese "Eichung" während des Meßvorganges mit einer Frequenz ungefähr im Kilohertzbereich durchgeführt wird, können so sämtliche Ungenauigkeiten durch verschiedene Drifterscheinungen vermieden werden. In Strenge ist dies jedoch nur der Fall, wenn sowohl das elektrische Meßsignal als auch das elektrische Referenzsignal in der elektrischen Schaltung exakt denselben elektrischen Signalweg zurücklegen. Dies hat zur Folge, daß zur Aussendung und zum Empfang sowohl des Meßlichtsignals als auch des Referenzlichtsignals nur ein Lichtsender — üblicherweise eine Leuchtdiode — und nur ein Empfangselement — üblicherweise eine Photodiode — eingesetzt werden dürfen. Daraus resultiert jedoch, daß die Lichtwelle abwechselnd auf die Meßlichtstrecke und die Referenzlichtstrecke umgeleitet werden muß. Bei Verfahren, die heutzutage ein Entfernungsmessgerät mit nur einem Lichtsender und einem Empfangselement realisieren, erfolgt das Umlegen der Lichtwelle von der Meßlichtstrecke auf die Referenzlichtstrecke und umgekehrt über optomechanische Schalter. Dieses kosten- und verschleißanfällige Verfahren läßt sich bis heute nicht vermeiden, da optoelektronische Bauelemente bislang nicht in ausreichender Stückzahl und zu angemessenen Preisen erhältlich sind. Bei weiteren, bekannten Verfahren wird das geschilderte Problem dadurch gelöst, daß entweder ein zweiter Lichtsender oder ein zweites Empfangselement vorgesehen wird.

Der in den bekannten Verfahren vorgeschlagene Einsatz zweier Lichtsender oder zweier Empfangselemente ergibt — wie bereits angesprochen — ein neues Problem. Um eine exakte Messung zu gewährleisten, ist es nämlich notwendig, daß die elektrischen Signalwege exakt identisch aufgebaut sind. Eine solche Symmetrie ist jedoch tatsächlich aus verschiedenen Gründen nicht erreichbar. Zum einen sind in jeder elektronischen Schaltung Bauteiltoleranzen unvermeidbar, die zudem noch unterschiedliche zeitliche Drifteigenschaften aufweisen. Zum anderen kann auch nicht gewährleistet werden, daß die elektrischen Signalwege auf exakt der gleichen Temperatur liegen — wodurch die Symmetrie wiederum durch die Temperaturabhängigkeit der Bauteile ge-

stört wird. Im Ergebnis führt die fehlende Symmetrie der elektrischen Signalwege zu einer zeitabhängig reduzierten Meßgenauigkeit.

Ein weiteres, die Meßgenauigkeit bei bekannten Entfernungsmessgeräten, insbesondere Entfernungsmessgeräten nach dem Dauerstrichverfahren, beeinträchtigendes Problem liegt in der Notwendigkeit der Phasendifferenzbestimmung zwischen zwei hochfrequenten Signalen. Um eine hohe Meßgenauigkeit zu gewährleisten, muß diese Phasendifferenzbestimmung mit einer sehr hohen absoluten Genauigkeit erfolgen. Problematisch ist hierbei insbesondere, daß die Phasendifferenzbestimmung bei sehr hohen Frequenzen erfolgen muß und daß gleichzeitig zumindest ein Signal, nämlich das jeweilige Empfangssignal, einen erheblichen Rauschanteil aufweist. Die angesprochenen Probleme führen zu einer stark eingeschränkten Meßgenauigkeit des Phasendifferenzdetektors und somit des Entfernungsmessgerätes.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Meßgenauigkeit der bekannten Entfernungsmessgeräte deutlich zu verbessern.

Das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät, bei dem die zuvor aufgezeigte Aufgabe gelöst ist, ist dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem der elektrischen Signalwege eine elektronische Signalverzögerungseinheit vorgesehen ist. Durch eine geeignete Anordnung der elektronischen Signalverzögerungseinheiten mit variablen oder festen Signalverzögerungen lassen sich die beiden angesprochenen Probleme lösen, und somit wird auch die Meßgenauigkeit gesteigert.

Das Problem der Unsymmetrie der getrennten elektrischen Signalwege wird dadurch gelöst, daß mindestens eine Verzögerungseinheit in mindestens einem der elektrischen Signalwege vorgesehen ist und die Signalverzögerung dieser Signalverzögerungseinheit bei Anlegen eines Abgleichsignals an die beiden elektrischen Signalwege so gewählt wird, daß die Signallaufzeit in beiden elektrischen Signalwegen identisch ist, also die Symmetrie der elektrischen Signalwege dauernd gewährleistet ist. Dieser Abgleich wird in regelmäßigen Abständen wiederholt, so daß ständig die Symmetrie der beiden elektrischen Signalwege gewährleistet werden kann und somit die Meßgenauigkeit dauerhaft maximiert wird. Konsequenz ist die Unsymmetrie der getrennten Signalwege — die Signalverzögerungseinheiten einmal unberücksichtigt gelassen — im Ergebnis völlig belanglos.

Das zweite Problem und damit die Aufgabe, die Meßgenauigkeit zu erhöhen, wird dadurch gelöst, daß bei einem erfindungsgemäßen Entfernungsmessgerät eine Signalverzögerungseinheit in dem Signalweg zwischen dem Sendepulsgenerator und dem Phasendifferenzdetektor vorgesehen ist. Die Signalverzögerung dieser Signalverzögerungseinheit wird während des Meßvorgangs derart variiert, daß die Phasendifferenz zwischen einem der Empfangssignale und dem Amplitudenmodulationssignal, wobei letzteres die Signalverzögerung erfährt, verschwindet oder eine bekannte Phasenverschiebung annimmt. In diesem Fall entspricht die Signalverzögerung des Signalverzögerungselements der Summe aus Phasendifferenz und bekannter Phasenverschiebung. Eine derart gestaltete Messung der Phasendifferenz ist deutlich genauer als eine nach den bekannten Verfahren. Dies resultiert daraus, daß man bei der Bestimmung einer Phasendifferenz mit dem Wert Null oder einer bekannten Phasenverschiebung eine wesentlich höhere absolute Genauigkeit erzielen kann und daß

gleichzeitig die Signalverzögerung sehr präzise aus der Einstellung der Signalverzögerungseinheit bestimmbar ist. Insgesamt erhöht sich somit die Meßgenauigkeit bei dem erfindungsgemäßen Entfernungsmessgerät deutlich.

Es soll an dieser Stelle noch deutlich darauf hingewiesen werden, daß die aufgeführten Beispiele für eine Anordnung von Signalverzögerungseinheiten innerhalb der Signalwege eines Entfernungsmessgerätes nicht als abschließend gelten soll. Es existieren viele weitere Möglichkeiten für den Einsatz von Signalverzögerungseinheiten in den Signalwegen von Entfernungsmessgeräten, die die Meßgenauigkeit dieser Entfernungsmessgeräte weiter steigert. Diese werden im folgenden nicht sämtlich aufgezählt, sondern anhand einer einzigen Figur exemplarisch dargestellt. Die einzige Figur zeigt ein Blockschaltbild einer beispielhaften Ausführungsform für ein erfindungsgemäßes Entfernungsmessgerät.

Das in der einzigen Figur dargestellte Entfernungsmessgerät 1 ermöglicht eine Entfernungsmessung nach dem Laufzeitprinzip, wobei elektromagnetische Wellen, vorzugsweise und hier dargestellt Lichtwellen, Verwendung finden. Das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät 1 weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel auf, einen eine Lichtwelle aussendenden Lichtsender 2, einen die Amplitude der Lichtwelle mittels eines Amplitudenmodulationssignals modulierenden Sendepulsgenerator 3, zwei am Ende einer Lichtstrecke angeordnete, zwei Empfangssignale liefernde Lichtempfänger 4, 5 und einen Phasendifferenzdetektor 6 in an sich aus dem Stand der Technik bekannter Weise über mehrere elektrische Signalwege verbunden.

Für den Phasendifferenzdetektor (PDD) 6 können wahlweise digitale oder analoge Typen eingesetzt werden. Beide Typen weisen spezifische Vor- und Nachteile auf:

#### Analoger PDD:

- a) Höhere Empfindlichkeit.
- b) Das Ausgangssignal ist von der Amplitude der Eingangssignale abhängig.

#### Digitaler PDD:

- a) Geringere Empfindlichkeit.
- b) Das Ausgangssignal ist von der Amplitude der Eingangssignale unabhängig.

Der Vollständigkeit halber sind in dem Blockschaltbild der dargestellten Ausführungsform noch weitere Baueinheiten dargestellt, wie sie größtenteils dem Stand der Technik entnommen werden können, so z. B. ein Verstärker 7 für das Amplitudenmodulationssignal, zwei Signalverstärker 8, 9 für beide Empfangssignale, ein Schmalbandverstärker 10 zur Eliminierung der den Empfangssignalen überlagerten Rauschteile und weiter ein Begrenzerverstärker 11 zur Umwandlung des anliegenden sinusförmigen Empfangssignals in ein annähernd rechteckförmiges Signal.

Erfindungsgemäß ist das Entfernungsmessgerät 1 dadurch entscheidend verbessert bzw. seine Meßgenauigkeit erhöht, daß in mindestens einem der elektrischen Signalwege mindestens eine elektrische Signalverzögerungseinheit vorgesehen ist. Es soll an dieser Stelle noch

einmal darauf hingewiesen werden, daß die im weiteren geschilderte konkrete Ausführungsform lediglich beispielhaft zu verstehen ist. Denkbar sind über die dargestellte Kombination von einem Lichtsender und zwei Lichtempfängern hinaus verschiedene Kombinationen. Zu nennen sind hier die Kombinationen aus einem Lichtsender und einem Lichtempfänger, zwei Lichtsendern und einem Lichtempfänger und zwei Lichtsendern und zwei Lichtempfängern. Die erfindungsgemäße Anordnung der Signalverzögerungseinheit innerhalb der Signalwege des jeweiligen Entfernungsmessgeräts ist analog zu der weiteren Beschreibung des konkreten Ausführungsbeispiels vorzunehmen.

Wie bereits angesprochen, ist in dem konkreten Ausführungsbeispiel ein erfindungsgemäßes Entfernungsmessgerät 1 mit einem Lichtsender 2 und zwei Lichtempfängern 4, 5 dargestellt. Der Lichtsender 2 sendet aus einerseits ein Lichtsignal über eine Meßlichtstrecke, die durch den Abstand eines Meßobjektes 12 von dem Lichtsender 2 und dem Lichtempfänger 5 bestimmt ist, zu dem Lichtempfänger 5 und andererseits ein weiteres Lichtsignal über eine Referenzlichtstrecke 13, z. B. gebildet von einer aufgewickelten Glasfaser, zu dem Lichtempfänger 4. Erfindungsgemäß ist in beiden der getrennten elektrischen Signalwege zwischen den Lichtempfängern 4, 5 und dem Phasendifferenzdetektor 6 jeweils eine elektrische Abgleichsignalverzögerungseinheit 14, 15 vorgesehen. Mit den erfindungsgemäß angeordneten Abgleichsignalverzögerungseinheiten 14, 15 innerhalb der getrennten elektrischen Signalwege zwischen den Lichtempfängern 4, 5 und dem Phasendetektor 6 ist bei einer entsprechenden Einstellung gewährleistet, daß die getrennten elektrischen Signalwege sich bezüglich ihrer Signallaufzeit völlig symmetrisch verhalten.

Um einen geeigneten Abgleich der Abgleichsignalverzögerungseinheiten 14, 15 zu gewährleisten, wird ein Abgleichsignal mit im wesentlichen der Amplitudenmodulationsfrequenz parallel an die getrennten elektrischen Signalwege hinter den Lichtempfängern 4, 5 angelegt. Dieses Abgleichsignal dient sozusagen als Referenz, da es gleichzeitig und parallel an die getrennten elektrischen Signalwege angelegt wird und somit ein nicht phasenverschobenes Eingangssignal für beide Signalwege darstellt. Diese Maßnahme ist notwendig, um eine tatsächliche Symmetrisierung der Signallaufzeiten zu erreichen. Da außerdem Signale unterschiedlicher Frequenz auch unterschiedliche Signallaufzeiten benötigen, die außerdem auch noch unterschiedliche Temperatur- und Drift-Abhängigkeiten aufweisen, ist es notwendig, daß das Abgleichsignal im wesentlichen die Amplitudenmodulationsfrequenz besitzt, um diese Fehlerquelle zu eliminieren. Besonders einfach und im konkreten Ausführungsbeispiel vorgesehen ist der Einsatz des Amplitudenmodulationssignals als Abgleichsignal.

Das konkrete Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Entfernungsmessgerätes 1 ist weiter dadurch verbessert, daß das Abgleichsignal unmittelbar hinter den Empfangselementen 16, 17 der Lichtempfänger 4, 5 an die getrennten elektrischen Signalwege anlegbar ist. Da nur die von dem Abgleichsignal durchlaufenden Abschnitte der getrennten Signalwege hinsichtlich ihrer Signallaufzeit symmetrisiert werden, ist es von Vorteil, das Abgleichsignal so früh als möglich an die getrennten Signalwege anzulegen. Dies ist insbesondere dann gewährleistet, wenn das Abgleichsignal unmittelbar hinter den Empfangselementen 16, 17 der Lichtempfänger 4, 5 angelegt wird. Eine besonders vorteilhafte Ausgestal-

tung wird dadurch gewährleistet, daß das Abgleichsignal über einen weiteren Lichtsender mit identischem Abstand zu beiden Lichtempfängern 4, 5 unmittelbar in die Lichtempfänger 4, 5 eingekoppelt wird. Hierdurch werden auch Varianten in den Lichtempfängern eliminiert.

Das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät 1 ist weiter dadurch verbessert, daß ein Umschaltgenerator 18 vorgesehen ist, der in an sich bekannter Weise in verschiedenen Modi jeweils ein Empfangssignal und das Amplitudenmodulationssignal an den Phasendifferenzdetektor 6 anlegt, und daß außerdem der Umschaltgenerator 18 alternativ beide Abgleichsignale nach Durchlaufen der getrennten elektrischen Signalwege in einem Abgleichmodus an den Phasendifferenzdetektor 6 anlegt und gleichzeitig das Abgleichsignal an die vorgesehenen Punkte anlegt.

Der Umschaltgenerator 18 dient im konkreten Ausführungsbeispiel und im allgemeinen als Steuerungszentrale für den jeweiligen Betriebsmodus der Messungen. Im vorliegenden Fall ist zu unterscheiden zwischen

- a) einem Meßmodus, in welchem die Phasendifferenz bei Ausbreitung der Lichtwelle über die Meßlichtstrecke bestimmt wird,
- b) einem Referenzmodus, in welchem die Phasendifferenz bei Ausbreitung der Lichtwelle über die Referenzlichtstrecke bestimmt wird, und
- c) dem Abgleichmodus, in welchem die Phasendifferenz bei Anlage des Abgleichsignals an die getrennten elektrischen Signalwege bestimmt wird.

In den Modi a) und b) wird jeweils die Phasendifferenz zwischen den Empfangssignalen und dem Amplitudenmodulationssignal bestimmt.

Das dargestellte Entfernungsmessgerät 1 ist weiter dadurch verbessert, daß der Umschaltgenerator 18 die möglichen Modi abwechselnd in beliebiger zeitlicher Kombination realisiert. Da ein Abgleich der beiden getrennten Signalwege im allgemeinen mit einer viel geringeren Frequenz im Vergleich zu der Wechselrhythmus zwischen dem Meßmodus und dem Referenzmodus durchzuführen sein wird, da eine spürbare Drift eine gewisse Zeit benötigt, ist es vorteilhaft, daß der Umschaltgenerator 18 die Modi in beliebiger zeitlicher Kombination, also mit unterschiedlichen Frequenzen realisieren kann.

Das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät 1 wird weiter besonders vorteilhaft dadurch ausgestaltet, daß der Phasendetektor 6 die Phasendifferenz des über beide getrennten Signalwege der Lichtempfänger 4, 5 laufenden Abgleichsignals in dem Abgleichmodus bestimmt. Alternativ kann jedoch auch ein zweiter separater Phasendifferenzdetektor zur Bestimmung der Phasendifferenz des über die beiden getrennten Signalwege laufenden Abgleichsignals vorgesehen sein.

Weiter ist in dem konkreten Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Entfernungsmessgerät 1 ein Abgleichregler 19 vorgesehen, der die Signalverzögerung der ersten Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 einstellt. Als Regelgröße des Abgleichreglers 19 dient die vom Phasendifferenzdetektor 6 bestimmte Phasendifferenz zwischen dem über beide getrennten Signalwege laufenden Abgleichsignal. Der Abgleichregler 19 stellt die Signalverzögerung der ersten Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 so lange, bis die Phasendifferenz des über die beiden getrennten Signalwege laufenden Abgleichsignals den Sollwert, nämlich Phasendifferenz

renz = 0, erreicht. Durch diese Abgleichprozedur mit Hilfe des Abgleichreglers 19 wird die Symmetrisierung der getrennten Signalwege hinsichtlich ihrer Signallaufzeiten schnell und elegant gewährleistet. Der Typ des Reglers ist je nach Anwendung des erfindungsgemäßen Prinzips auszuwählen, z. B. können Proportional-, Proportional-Integrale oder Proportional-Integrale Differenzial-Regler eingesetzt werden.

Das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät 1 ist weiter dadurch gekennzeichnet, daß die erste Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 die im Abgleichmodus nach dem Erreichen des Sollwerts für die Phasendifferenz eingestellte Signalverzögerung in den anderen Modi beibehält. Diese Maßnahme ist notwendig, um zu gewährleisten, daß die im Abgleichmodus erreichte Symmetrisierung der getrennten Signalwege sowohl im Meßmodus als auch im Referenzmodus erhalten wird.

Ist, im Gegensatz zu der Darstellung in der Figur, nur eine Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 vorgesehen, so muß diese notwendigerweise einen Regelbereich aufweisen, der eine Phasenverschiebung von 0° bis 360° umfaßt.

Erfindungsgemäß ist das Entfernungsmessgerät 1 weiter dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Abgleichsignalverzögerungseinheit 15 im jeweils anderen der getrennten Signalwege der Lichtempfänger 4, 5 vorgesehen ist. Diese zweite Abgleichsignalverzögerungseinheit 15 erzeugt im Gegensatz zu der ersten Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 keine variable, sondern eine konstante Signalverzögerung. Durch die zweite Abgleichsignalverzögerungseinheit 15 wird gewährleistet, daß auch bei einer an und für sich geringeren Signallaufzeit durch den getrennten Signalweg der zweiten Abgleichsignalverzögerungseinheit 15 eine Symmetrisierung ohne die Einstellung einer Signalverzögerung, die einer Phasenverschiebung im Bereich von 360° entspricht, durch die ersten Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 erreicht werden kann. Denn es ist natürlich nicht möglich, eine negative Signalverzögerung zu erzeugen. Die konstante Signalverzögerung der zweiten Abgleichsignalverzögerungseinheit 15 muß hierbei in geeignetem Maß über der minimal einstellbaren Signalverzögerung der ersten Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 liegen. Die zweite Abgleichsignalverzögerungseinheit 15 ermöglicht es also, eine erste Abgleichsignalverzögerungseinheit 14 mit einem kleineren Regelbereich einzusetzen.

Es versteht sich von selbst und soll hier nur der Form halber erwähnt werden, daß die Abgleichsignalverzögerungseinheiten 14, 15 auf den getrennten Signalwegen hinter dem Anlegpunkt des Abgleichsignals angeordnet sein müssen.

Möglich ist jedoch auch der Einsatz einer einzigen Abgleichsignalverzögerungseinheit 14', in der Figur gestrichelt dargestellt, in dem gemeinsamen elektrischen Signalweg, also im dargestellten Ausführungsbeispiel vor, hinter oder zwischen dem Schmalbandverstärker 10 und dem Begrenzerverstärker 11. Bei einer solchen Anordnung einer einzigen Abgleichsignalverzögerungseinheit 14' ist es notwendig, daß ihre Signalverzögerung abhängig vom Betrieb im Meßmodus oder im Referenzmodus über den Umschaltgenerator 18 und den Abgleichregler 19 umschaltbar ist. Weiter wird zum Abgleich das Abgleichsignal abwechselnd auf die getrennten elektrischen Signalwege gegeben.

Bei einer Anordnung mit beispielsweise zwei Lichtsendern ist erfindungsgemäß so vorzugehen, daß in mindestens einem der getrennten elektrischen Signalwege

zwischen dem Sendepulsgenerator und den Lichtsendern mindestens eine elektrische Signalverzögerungseinheit für die Amplitudenmodulationssignale vorgesehen ist. In diesem Fall ist der Umschaltgenerator so auszugestalten, daß er alternativ beide Amplitudenmodulationssignale nach Durchlaufen der getrennten Signalwege in einem zweiten Abgleichmodus an den Phasendifferenzdetektor anlegt. Das im Anschluß hieran von dem Phasendifferenzdetektor gewonnene Phasendifferenzsignal dient dann analog zu den vorherigen Betrachtungen zur Regelung der Signalverzögerung einer der Abgleichsignalverzögerungseinheiten vor den Lichtsendern. Somit wird auch bei einem Entfernungsmessgerät mit zwei Lichtsendern die Symmetrisierung hinsichtlich der Laufzeit bereits vor dem Aussenden der Lichtwellen gewährleistet. Bei einem Entfernungsmessgerät mit zwei Lichtsendern und zwei Lichtempfängern lassen sich selbstverständlich die Symmetrisierung der Lichtsender als auch der Lichtempfänger sukzessive verwirklichen.

Wie bereits angesprochen, besteht eine zweite unabhängige Anwendungsmöglichkeit des erfindungsgemäßen Einsatzes von Signalverzögerungseinheiten innerhalb eines Entfernungsmessgerätes 1 nach dem Laufzeitprinzip darin, in dem elektrischen Signalweg zwischen dem Sendepulsgenerator 3 und dem Phasendifferenzdetektor 6 eine elektronische Meßsignalverzögerungseinheit 20 vorzusehen. Erfindungsgemäß ist das Entfernungsmessgerät 1 dann dadurch gekennzeichnet, daß ein Meßregler 21 die Signalverzögerung der Meßsignalverzögerungseinheit 20 einstellt. Hierbei dient als Regelgröße des Meßreglers 21 im Meßmodus und im Referenzmodus die Phasendifferenz zwischen jeweils einem Empfangssignal und dem Amplitudenmodulationssignal am Phasendifferenzdetektor 6. Der Meßregler 21 stellt hierbei die Signalverzögerung der Meßsignalverzögerungseinheit 20 derart ein, daß der Sollwert Null für die Phasendifferenz erreicht wird. Dadurch, daß der Phasendifferenzdetektor 6 somit lediglich eine Phasendifferenz mit einem Wert nahe bei Null bestimmen muß und gleichzeitig die relative Meßgenauigkeit des Phasendifferenzdetektors unberührt bleibt, erreicht man bei der Einstellung der Phasendifferenz Null eine höhere absolute Meßgenauigkeit im Vergleich zu endlichen Werten. Insgesamt gelangt man also zu einer höheren absoluten Meßgenauigkeit des erfindungsgemäßen Entfernungsmessgeräts 1. Beim Einsatz einer Meßsignalverzögerungseinheit 20 ergibt sich eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung durch die Verwendung eines Ringmodulators als Phasendifferenzdetektor 6, da dessen Ausgangssignal bei einer Phasendifferenz von 90° unabhängig von den Amplituden der Eingangssignale gleich Null ist. Diese bekannte Phasenverschiebung muß anschließend zur Ermittlung der tatsächlichen Phasendifferenz von der Signalverzögerung der Signalverzögerungseinheit 20 abgezogen werden.

Die vorliegende Erfindung wird weiter besonders vorteilhaft dadurch ausgestaltet, daß die Signalverzögerung durch die Meßsignalverzögerungseinheit 20 nicht aus dem, von beispielsweise der Temperatur der elektronischen Meßsignalverzögerungseinheit 20 abhängigen, Ausgangssignal des Meßreglers 21 abgeleitet wird, sondern von einem zusätzlichen Phasendifferenzdetektor 6' ermittelt wird, in der Figur gestrichelt dargestellt, der die Phasendifferenz zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangssignal der Meßsignalverzögerungseinheit 20 ermittelt. Für diesen Phasendifferenzdetektor 6' bietet sich ein digitaler Typ an, da die zu vergleichenden

Signale ausreichend große Amplituden aufweisen.

Das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät 1 ist nun weiter dadurch gekennzeichnet, daß eine Auswerteeinheit 22 vorgesehen ist, die die Signalverzögerung der Meßsignalverzögerungseinheit 20 nach dem Erreichen des Sollwertes für die Phasendifferenz im Meßmodus und im Referenzmodus speichert. Mit Hilfe dieser gespeicherten Signalverzögerungen berechnet die Auswerteeinheit 22 anschließend aus den Differenzen der Signalverzögerungen der Meßsignalverzögerungseinheit 20 im Meßmodus und im Referenzmodus die Laufzeit des Lichtsignals und somit die zugehörige Entfernung.

Besonderer Gegenstand der Erfindung ist es außerdem, daß als zeitbestimmendes Bauteil der Signalverzögerungseinheiten eine Kapazitätsdiode eingesetzt wird. Kapazitätsdioden werden bislang vorwiegend zu Abstimmzwecken in Mittelwellen- und UKW-Kreisen, vor allem in Fernsehempfängern zur Abstimmung von VHF- und UHF-Kreisen eingesetzt. Die wesentliche Eigenschaft von Kapazitätsdioden ist die, daß ihre Sperrschichtkapazität mit zunehmender Sperrspannung besonders ausgeprägt abnimmt. Somit erscheinen sie auch bei der erfindungsgemäßen Weiterentwicklung von Entfernungsmessgeräten durch den Einsatz in Signalverzögerungseinheiten als geeignete Bauteile, da ihre Kapazität in einfacher Weise spannungsgesteuert variiert werden kann. Insbesondere kann eine Kapazitätsdiode als zeitbestimmendes Element eines als Signalverzögerungseinheit eingesetzten Allpaßfilters dienen.

Eine solche Kapazitätsdiode kann in verschiedener Form Anwendung finden. In einer ersten Variante dient sie als die Resonanzfrequenz bestimmendes Element eines als Signalverzögerungseinheit eingesetzten Schwingkreises. Alternativ hierzu können die einer Kapazitätsdiode ähnlichen Eigenschaften der Empfangsdioden 16, 17 zur Signalverzögerung ausgenutzt werden, in dem sie über eine regelbare Spannungsquelle in ihrem Arbeitspunkt und damit in ihrer Signalverzögerung verändert werden. Als letzte Variante dieser nicht abschließenden Aufzählung sei noch genannt der Einsatz einer Umschaltdiode, wie sie aus der DE-A 44 11 218, deren Offenbarungsgehalt ausdrücklich in die vorliegende Offenbarung einbezogen wird, beschrieben ist, als Kapazitätsdiode unter Ausnutzung ihrer einer Kapazitätsdiode ähnlichen Eigenschaften.

Schließlich kann das erfindungsgemäße Entfernungsmessgerät dadurch weiter vorteilhaft ausgestaltet werden, daß die Signalfrequenz durch entsprechend angeordnete Mischer in an sich bekannter Weise deutlich reduzierbar ist.

#### Patentansprüche

1. Entfernungsmessgerät nach dem Laufzeitprinzip unter Verwendung elektromagnetischer Wellen, vorzugsweise von Lichtwellen, mit mindestens einem eine Lichtwelle aussendenden Lichtsender (2), mit einem die Amplitude der Lichtwelle mittels eines Amplitudenmodulationssignals modulierenden Sendepulsgenerator (3), mit mindestens einem am Ende einer Lichtstrecke angeordneten, ein Empfangssignal liefernden Lichtempfänger (4, 5) und mit mindestens einem Phasendifferenzdetektor (6), wobei der Lichtsender (2), der Sendepulsgenerator (3), der Lichtempfänger (4, 5) und der Phasendifferenzdetektor (6) in an sich bekannter Weise über elektrische Signalwege verbunden sind, dadurch

g gekennzeichnet, daß in mindestens einem der elektrischen Signalwege mindestens eine elektronische Signalverzögerungseinheit vorgesehen ist.

2. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Lichtempfänger (4, 5) am Ende einer Lichtstrecke angeordnet sind und in mindestens einem der getrennten elektrischen Signalwege zwischen den Lichtempfängern (4, 5) und dem Phasendifferenzdetektor (6) mindestens eine elektrische Abgleichsignalverzögerungseinheit (14, 15) vorgesehen ist.

3. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Abgleichsignal im wesentlichen mit der Amplitudenmodulationsfrequenz, insbesondere das Amplitudenmodulationssignal, parallel an die getrennten elektrischen Signalwege hinter den Lichtempfängern (4, 5) anlegbar ist.

4. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Abgleichsignal unmittelbar hinter den Empfangselementen (16, 17) der Lichtempfänger (4, 5) an die getrennten elektrischen Signalwege anlegbar ist.

5. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Umschaltgenerator (18) vorgesehen ist, der in an sich bekannter Weise in verschiedenen Modi jeweils ein Empfangssignal und das Amplitudenmodulationssignal an den Phasendifferenzdetektor (6) anlegt, und daß der Umschaltgenerator (18) alternativ beide Abgleichsignale nach Durchlaufen der getrennten elektrischen Signalwege in einem Abgleichmodus an den Phasendifferenzdetektor (6) anlegt und gleichzeitig das Abgleichsignal an die vorgesehenen Punkte der Lichtempfänger (4, 5) anlegt.

6. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Umschaltgenerator (18) die möglichen Modi abwechselnd in beliebiger zeitlicher Kombination realisiert.

7. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasendifferenzdetektor (6) die Phasendifferenz des über die beiden getrennten elektrischen Signalwege der Lichtempfänger (4, 5) laufenden Abgleichsignals in dem Abgleichmodus bestimmt.

8. Entfernungsmessgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Abgleichregler (19) die Signalverzögerung einer ersten Abgleichsignalverzögerungseinheit (14) einstellt.

9. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als Regelgröße des Abgleichreglers (19) die Phasendifferenz des über die beiden getrennten elektrischen Signalwege der Lichtempfänger (4, 5) laufenden Abgleichsignals am Phasendifferenzdetektor dient.

10. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert des Abgleichreglers (19) für die Phasendifferenz Null beträgt.

11. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Abgleichsignalverzögerungseinheit (14) die im Abgleichmodus nach dem Erreichen des Sollwertes für die Phasendifferenz eingestellte Signalverzögerung in den anderen Modi beibehält.

12. Entfernungsmessgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Abgleichsignalverzögerungseinheit (15) im

jeweils anderen der getrennten Signalwege in bezug auf die erste Abgleichsignalverzögerungseinheit (14) der Lichtempfänger (4, 5) vorgesehen ist.

13. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Abgleichsignalverzögerungseinheit (15) eine konstante Signalverzögerung erzeugt.

14. Entfernungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß in dem elektrischen Signalweg zwischen dem Sendepuls-generator (3) und dem Phasendifferenzdetektor (6) eine elektronische Meßsignalverzögerungseinheit (20) vorgesehen ist.

15. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein Meßregler (21) die Signalverzögerung der Meßsignalverzögerungseinheit (20) einstellt.

16. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß als Regelgröße des Meßreglers (21) in verschiedenen Modi die Phasendifferenz zwischen jeweils einem Empfangssignal und dem Amplitudenmodulationssignal am Phasendifferenzdetektor (6) dient.

17. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert des Meßreglers (21) für die Phasendifferenz Null beträgt.

18. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine Auswerteeinheit (22) die Signalverzögerung der Meßsignalverzögerungseinheit (20) nach dem Erreichen des Sollwerts für die Phasendifferenz in den verschiedenen Modi speichert.

19. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit (22) aus den Differenzen der Signalverzögerungen der Meßsignalverzögerungseinheit (20) in den verschiedenen Modi die Laufzeit bestimmt.

20. Entfernungsmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das zeitbestimmende Bauteil der Signalverzögerungseinheit eine Kapazitätsdiode ist.

21. Entfernungsmessgerät nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapazitätsdiode das zeitbestimmende Element eines als Signalverzögerungseinheit eingesetzten Allpaßfilters ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

